



# Entwicklung autonomer Roboter

Stand der Technik,  
Perspektiven und  
das besondere Problem  
der Kampfroboter

Hans-Jörg Kreowski

# zur Person



***fachbereich 3***  
*mathematik und informatik*

Professor für Theoretische Informatik  
seit 1982



Vorstandsmitglied des FIF  
(Forum InformatikerInnen für Frieden  
und gesellschaftliche Verantwortung)

## zur Person

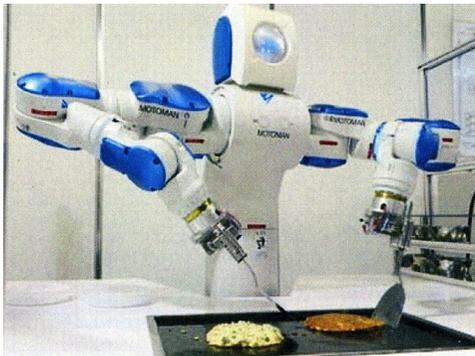
Teilprojektleiter von 2004 bis 2012 im



Mitantragsteller eines SFBs zu autonomen Robotern  
(nicht bewilligt)

# Autonome Roboter

Intensive Forschung und Entwicklung seit 3 Jahrzehnten mit einem breiten Spektrum an Anwendungen und umfangreichen staatlichen Fördergeldern (z.B. Cyber-physikalische Systeme, Industrie 4.0, Internet der Dinge, AUTONOMIK, ...)



# Autonome Roboter

... und umfangreichen staatlichen Fördergeldern  
(z.B. ..., RoboCup)



RoboCup  
EINDHOVEN 2013

B-Human <sup>★★★★</sup>

ROBOCUP STANDARD PLATFORM LEAGUE



# Autonome Roboter...

... befinden oder bewegen sich in einer sich ändernden und nicht vollständig bekannten Umgebung und erledigen dabei ihre Aufgaben

... treten einzeln auf oder in einer Gemeinschaft mit- oder gegeneinander  
(bis hin zu Schwärmen von Nanobots)

... müssen dazu ihre Umgebung erfassen und interpretieren, Schlüsse ziehen und planen, entscheiden und möglichst optimal handeln

... sollen sich teils durch Lernen verbessern

# Vorbilder Vorbilder für autonome Roboter...



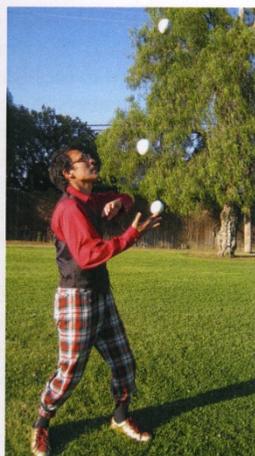
(a) Girl learning to ride a bicycle.  
Shaine Mata, CC BY-NC-ND 2.0 license



(b) 2.5 months old baby learns to grab objects.  
[www.flickr.com/people/\\_-o-\\_/](http://www.flickr.com/people/_-o-_/)  
CC BY 2.0 license



(c) Woman making pottery.  
Owen Lin, CC BY-NC-ND 2.0 license



(d) Man juggles.  
[www.flickr.com/people/Dvortygirl](http://www.flickr.com/people/Dvortygirl)  
CC BY-SA 2.0 license



(e) Handwriting a text.  
Jeffrey J. Pacres, CC BY-NC-ND 2.0 license



(f) Rubik's cube is a game where experts players can use acquired skills to simplify a hard search problem considerably.  
Steve Rhodes, CC BY-ND 2.0 license

Sind Menschen mit ihren Handlungs-, Problemlösungs-, Kommunikations-, Koordinations- und Lernfähigkeiten

Aber...

# Vorbilder Stand der Kunst

trotz hohen Aufwandes und beachtlicher Einzelerfolge

noch recht bescheiden, z.B.:

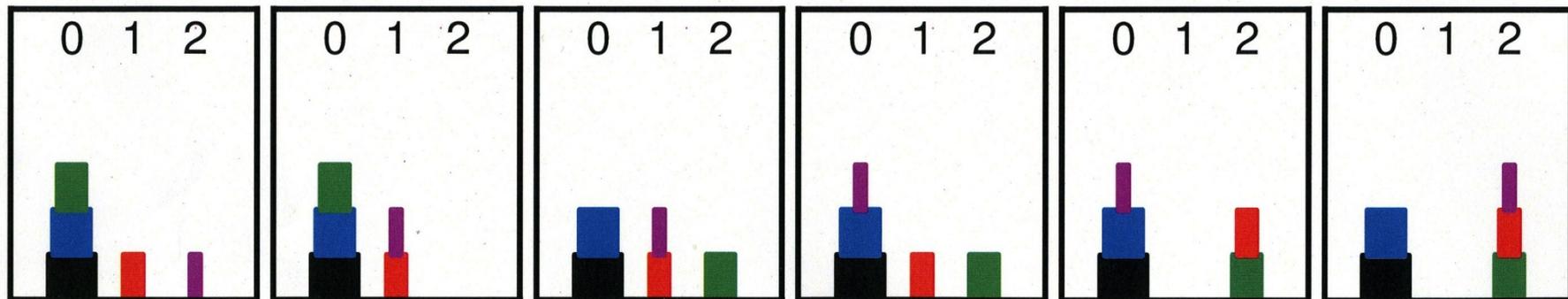
Wenden eines Eierkuchens,  
Roboter-Fußball,  
autonome Landfahrzeuge,

...

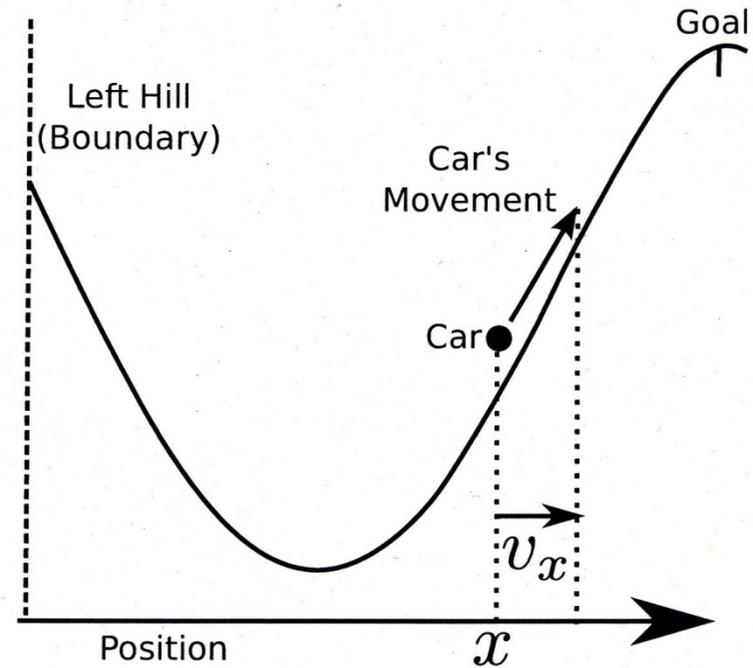
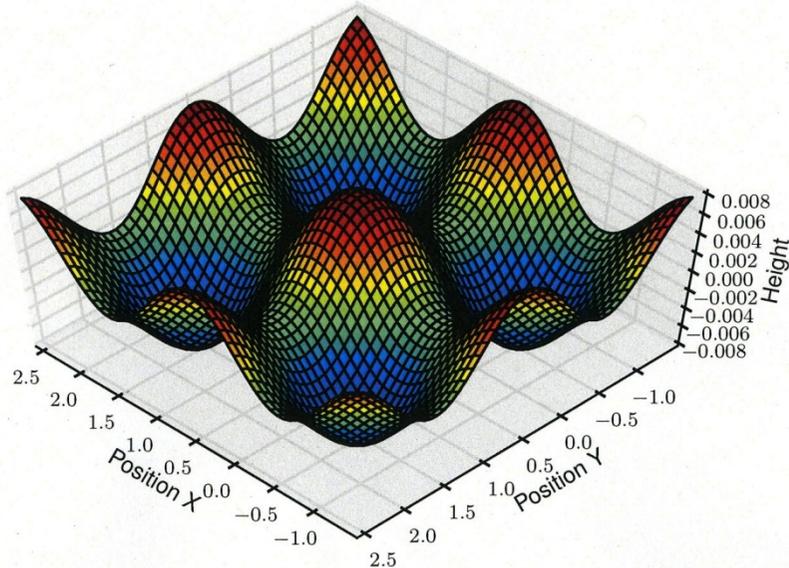
## Vorbilder z.B. Türme von Hanoi

ein Roboter kennt nur die Zugregel  
und kann sie beliebig oft ausführen,  
soll aber eine Situation A in eine Situation B überführen

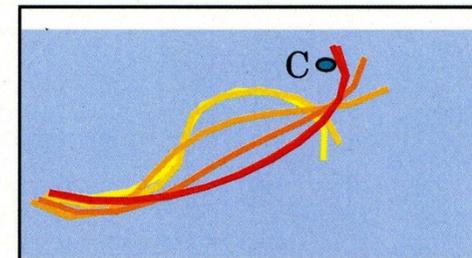
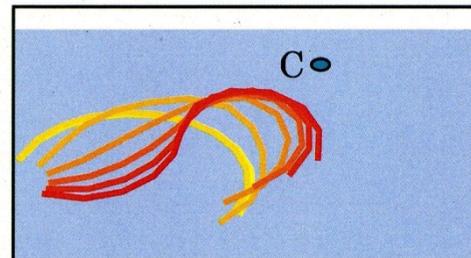
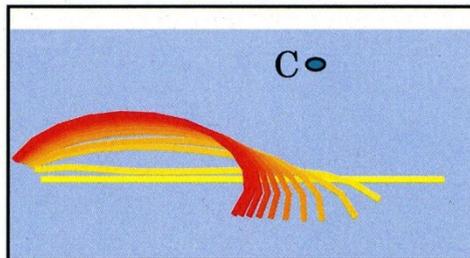
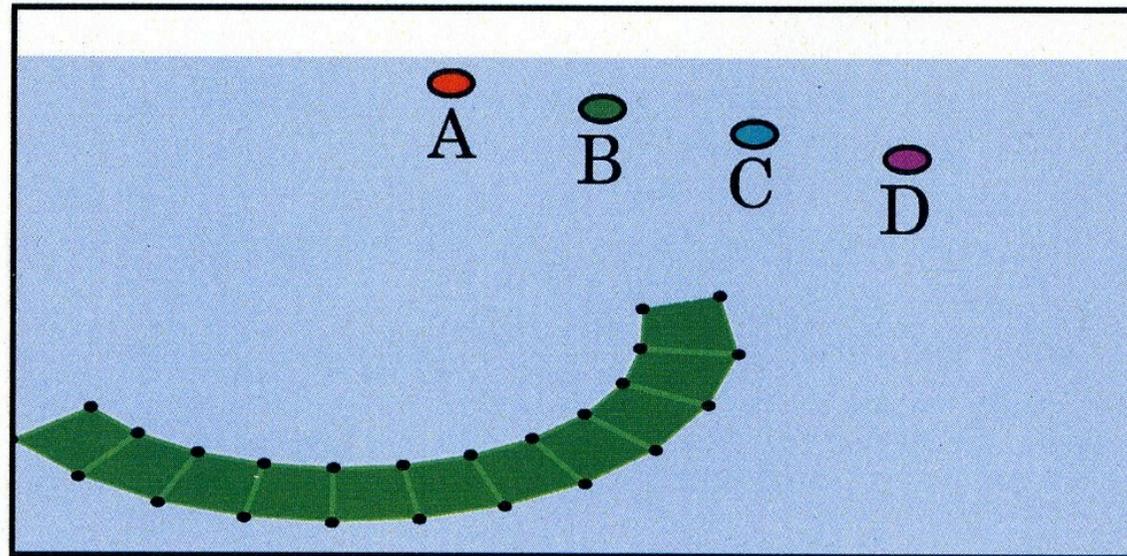
es gibt immer unendlich viele Zugfolgen;  
es gibt pro Zug 2 oder 3 Möglichkeiten,  
also  $2^n$  viele bei  $n$  Zügen



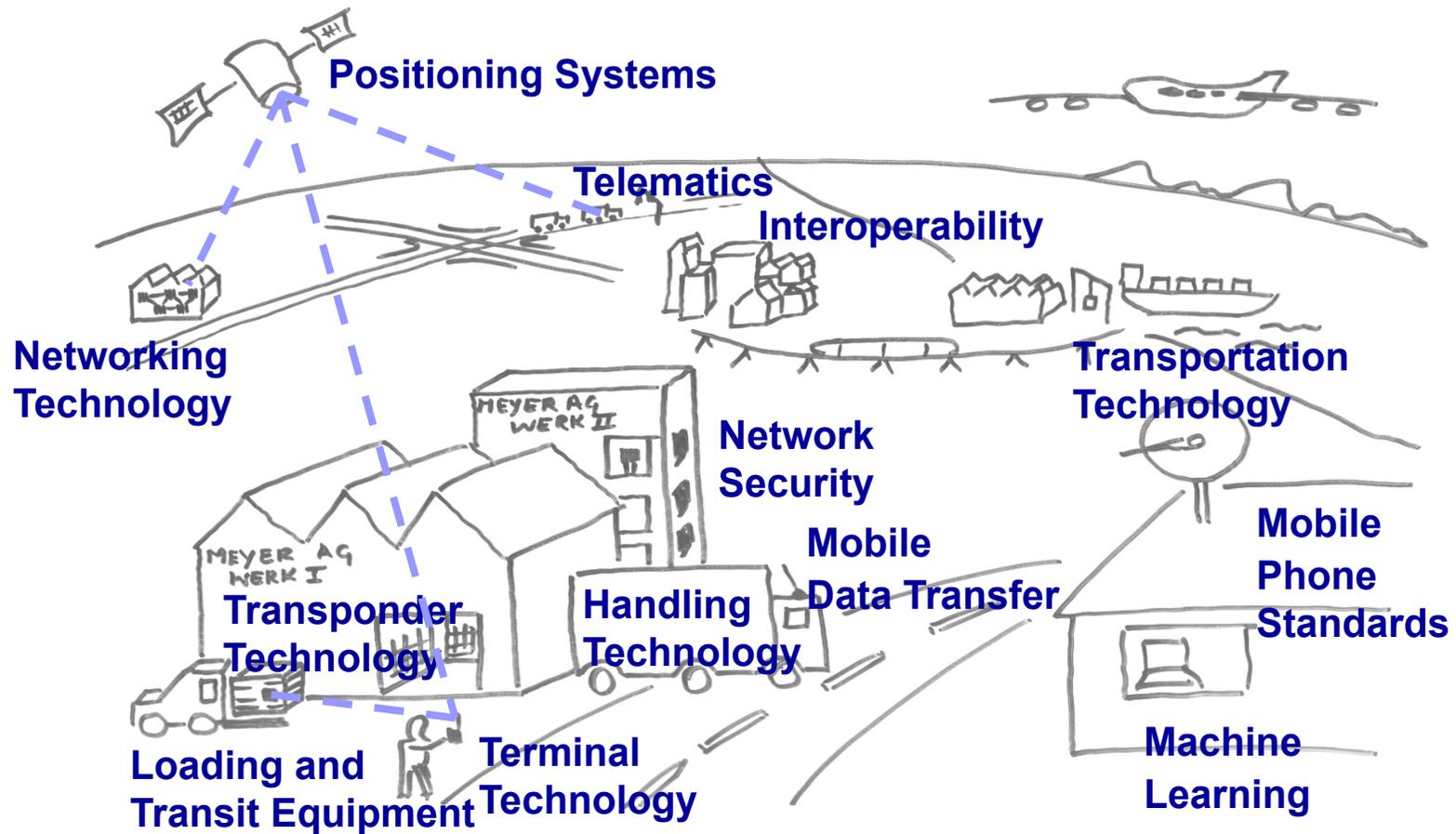
# Vorbilder z.B. Mountain Car



# Vorbilder z.B. Oktopus-Arm



# Vorbilder z.B. Welt der Logistik



# Probleme autonomer Roboter: Effizienz

Fast alle Planungs- und Optimierungsprobleme  
(wie Tourenplanung, Zielsuche)  
sind NP-schwer

d.h. alle bekannten exakten Lösungen sind  
im schlechtesten Fall mindestens exponentiell  
( $2^n$  Rechenschritte für Eingabegröße  $n$ )

sie funktionieren nur für kleine Instanzen sicher

# Probleme autonomer Roboter: Effizienz

**Auswege:**

hoffen, dass der schlechteste Fall nicht oft eintritt  
(Expertensysteme, SAT-Solver, Model Checker)

brechen Berechnung ab, wenn es zu lange dauert,  
probieren etwas anderes

Heuristiken, insbesondere prozedurales Lernen

falsche Ergebnisse werden akzeptiert,  
Abweichung von Lösung oft unbekannt

nicht gangbar,  
wenn man sich Fehler nicht leisten kann oder will

# Probleme autonomer Roboter: Modellierung

**Auswege:**

hoffen, dass der schlechteste Fall nicht oft eintritt  
(Expertensysteme, SAT-Solver, Model Checker)

brechen Berechnung ab, wenn es zu lange dauert,  
probieren etwas anderes

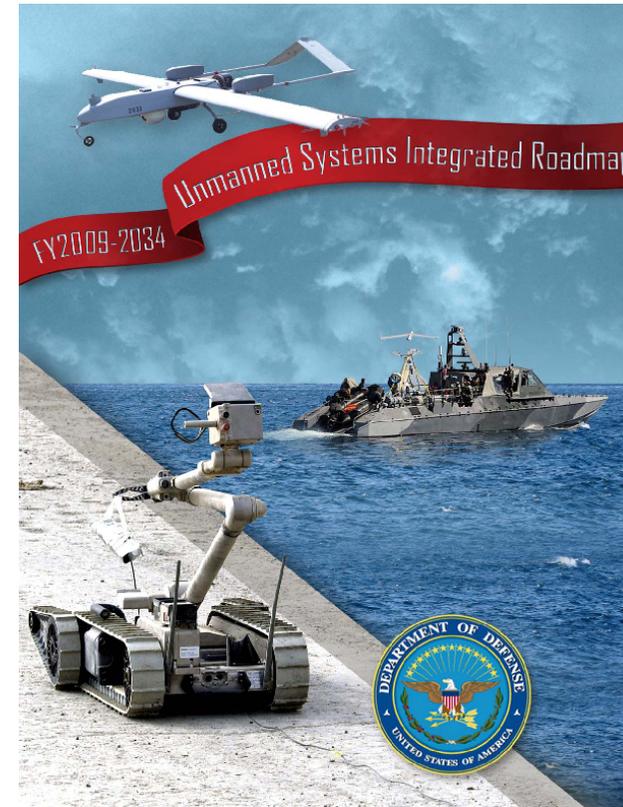
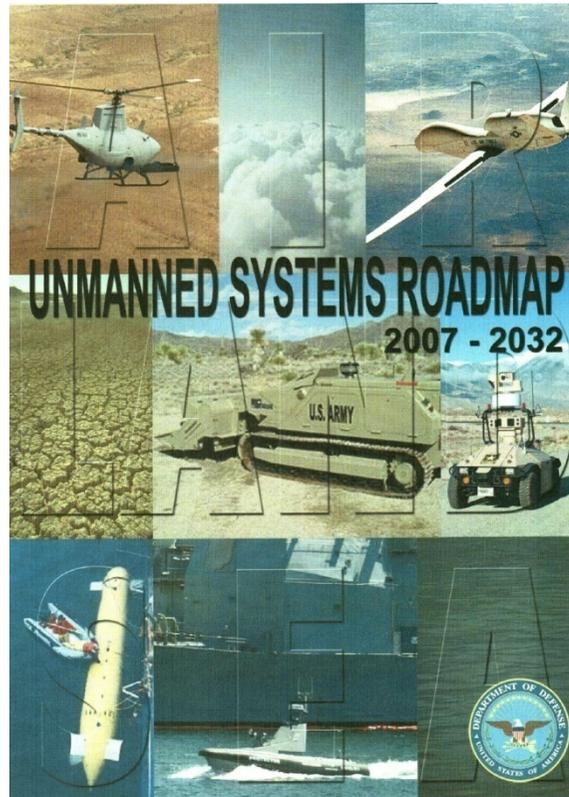
Heuristiken, insbesondere prozedurales Lernen

falsche Ergebnisse werden akzeptiert,  
Abweichung von Lösung oft unbekannt

nicht gangbar,  
wenn man sich Fehler nicht leisten kann oder will

# Kampfroboter

USA planen bis 2015, ein Drittel ihrer Bewaffnung auf unbemannte Vehikel in der Luft, am Boden und zu Wasser umzustellen



# bewaffnete unbemannte Fluggeräte (Drohnen)



**Predator (Länge 8 m)  
2 Hellfire-Raketen  
(US Air Force)**

**Reaper (Länge 11 m),  
8 Hellfire-Raketen o.ä.  
(US Air Force)**



# bewaffnete unbemannte Landfahrzeuge



**Talon SWORD**

US Army, Foster-Miller

**Armed Robotic Vehicle  
(Future Combat Systems)**

US Army



# besatzungslose Über- und Unterwasserfahrzeuge



**Protector**

**(USA, Lockheed-Martin/BAE/Rafael)**

**Swordfish  
Search-Classify-Map  
(USA)**



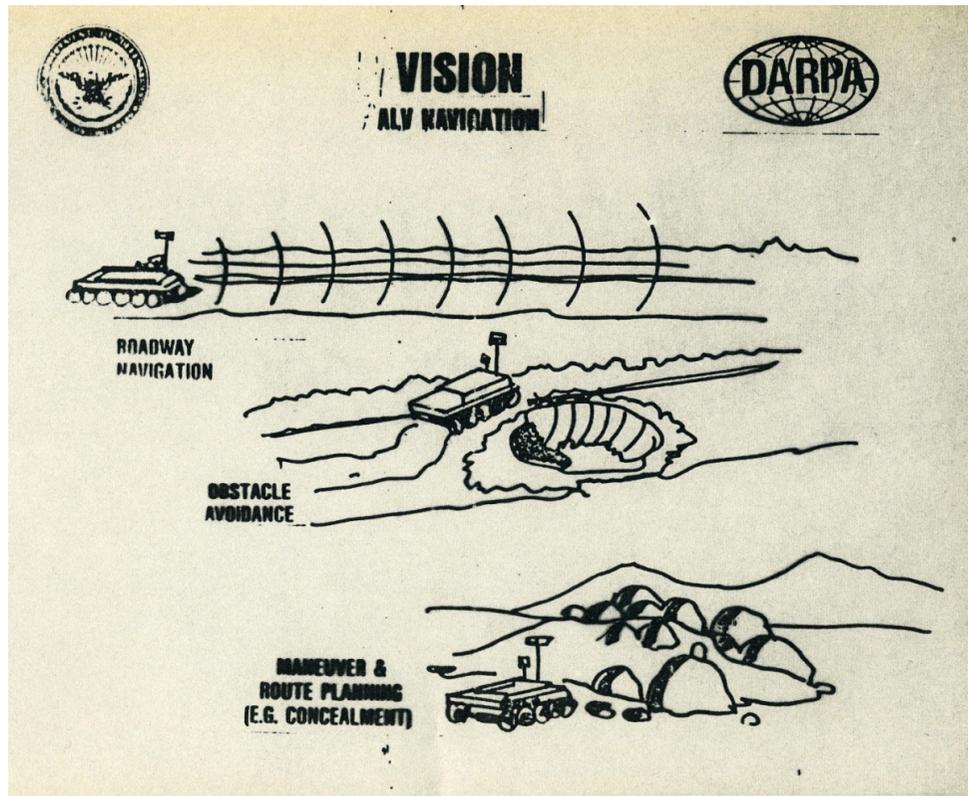
# Aladin, Luna, Mikado und KZO (Bundeswehr)



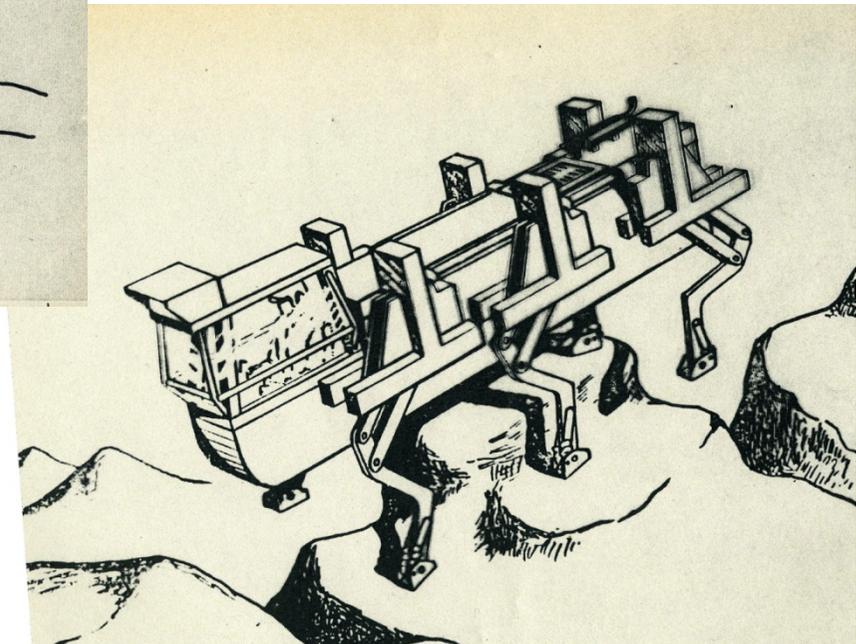
# Was hat das mit Informatik und Informationstechnik zu tun?

Eingebettete Systeme  
Sensoren und Aktuatoren  
Digitale Steuerung  
Telekommunikation  
Kommunikationsnetze  
Bildverarbeitung  
Künstliche Intelligenz  
u.v.a.m.

# Strategic Computing Initiative 1983



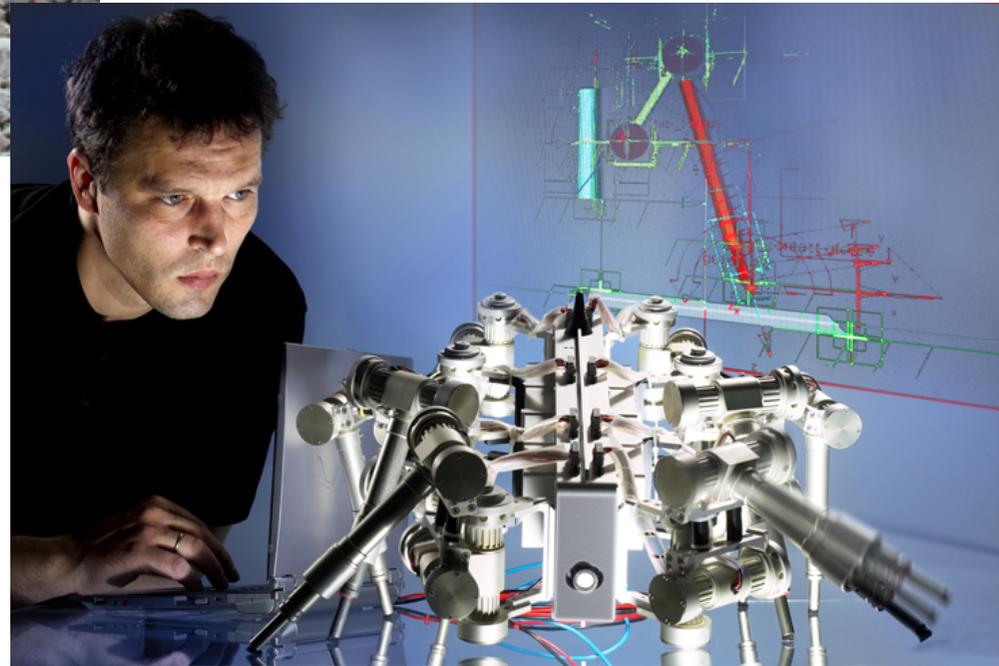
500 Mill. US \$



# Scorpion



DARPA, GMD 2001  
und DFKI Bremen heute



# Drohneneinsatz jetzt noch ferngesteuert

(aus Nevada)

hundertfach in Afghanistan, Pakistan und im Irak

gezielte Tötungen, viele Ziviltote

vermischte Nachrichten in 2008 und 2009:

**Chef der pakistanischen Taliban von Drohne getötet,  
CIA lässt Todes-Drohnen (nicht mehr) von Blackwater bestücken,  
30 Menschen von amerikanischer Drohne getötet,  
Einsatz von Drohnen statt neuer Truppen,  
US-Drohne zerstört Haus mit sechs Taliban - 28 Tote insgesamt  
etc.**

# Kriegsvölkerrecht (ius in bello)

(z.B. Haager Landkriegsordnung  
und Genfer Konventionen)

**Opfer, Wehrlose und Unbeteiligte schützen**

**insbes. Angriff auf Zivilpersonen verboten**

**Kulturgüter schonen**

**Anklage von Kriegsverbrechern möglich  
(vor nationalen und internationalen Gerichten)**

# Kriegsvölkerrecht (ius ad bellum)



(z.B. UN-Charta)

## Artikel 2

**... Alle Mitglieder legen ihre internationalen Streitigkeiten durch friedliche Mittel so bei, dass der Weltfriede, die internationale Sicherheit und die Gerechtigkeit nicht gefährdet werden.**

**Alle Mitglieder unterlassen in ihren internationalen Beziehungen jede gegen die territoriale Unversehrtheit oder die politische Unabhängigkeit eines Staates gerichtete oder sonst mit den Zielen der Vereinten Nationen unvereinbare Androhung oder Anwendung von Gewalt.**

# unbemannte Waffensysteme bald autonom

nächster Schritt:

völlig autonome Systeme

die Entscheidung über Leben und Tod wird  
Maschinen überlassen

Roboter werden selbsttätig töten,  
sobald sie den Befehl erhalten

# unbemannte Waffensysteme bald autonom

Darf die Entscheidung über Leben und Tod  
Maschinen überlassen werden?

Können Maschinen das Kriegsvölkerrecht  
kennen und respektieren?

Können sie zwischen kämpfenden Soldaten und  
unbeteiligten Personen unterscheiden?

Können sie kulturelle Güter schonen?

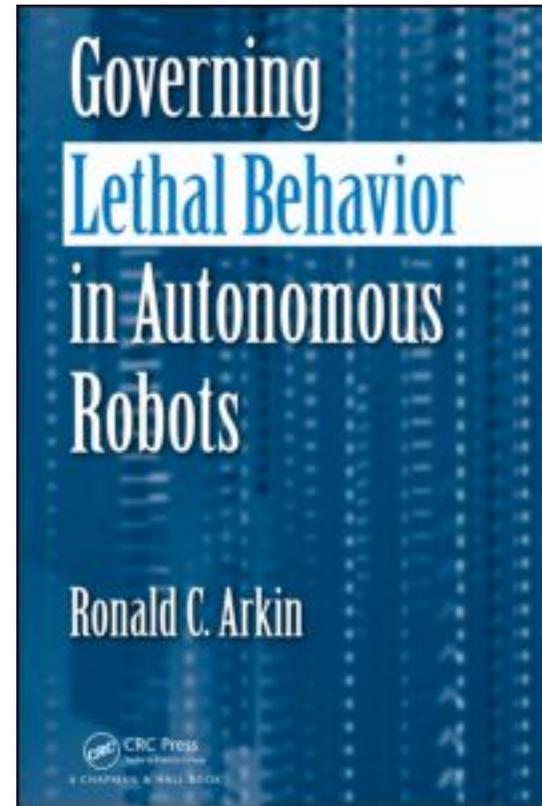
Können sie ethisch korrekt funktionieren?

# unbemannte Waffensysteme bald autonom



Ron Arkin

Georgia Institute of Technology



Maschinenethik ist nicht nur möglich,  
sondern wünschenswert

Roboter geraten nicht in Panik

Roboter können Befehle beurteilen und  
gegebenenfalls verweigern  
(künstliches Gewissen)

# unbemannte Waffensysteme bald autonom

Entscheidungen von Maschinen werden berechnet von Programmen auf eingebetteten Computern

Programme werden von Menschen entwickelt



SPIEGEL

# unbemannte Waffensysteme bald autonom

## Mein Fazit



unbemannte Vehikel und autonome Waffen  
mit „programmiertem Gewissen“  
werden nicht korrekt funktionieren

sie werden das Kriegsvölkerrecht  
nicht beachten können

sie sollten wie  
biologische und chemische Waffen  
verboten werden

# unbemannte Waffensysteme bald autonom

## Killerroboter und autonome Militärvehikel in Forschung und Lehre

z. B. Professor Wünsche, Bundeswehrhochschule München  
(vgl. Plug&Pray)

z.B. Professoren Beyerer und Tacke,  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und  
Bildauswertung in Kooperation mit dem  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

z. B. NATO-Wettbewerb für Unterwasserroboter  
mit Beteiligung deutscher Studierendenteams



formalisiert  
Buchhalter

**Alles Berechenbare**  
(egal welches „Programm“  
auf welchem „Computer“)  
**kann auch von**  
**Turing-Maschinen**  
**berechnet werden**

(Turingsche These 1936)

# Alles Berechenbare kann auch von Turing-Maschinen berechnet werden

Es gibt Probleme, die nicht berechenbar ist

Es gibt Programme mit unbekanntem Verhalten

Es gibt Programme, die zu viel Zeit und/oder Speicherplatz brauchen

Es gibt Programme, die unzuverlässig sind

Es gibt berechenbare Probleme ohne bekannte Lösung

Ob ein Problem von einem Programm exakt gelöst wird, ist fast nie bewiesen

# Was heißt das für „ethisches Verhalten“ von Maschinen?

Es könnte nicht berechenbar sein

Es könnte völlig undurchschaubar programmiert sein

Es könnte zu viel Zeit oder/und Speicherplatz brauchen

Es könnte unzuverlässig sein

Es könnte berechenbar sein, aber niemand weiß wie

Es könnte unbewiesen sein, dass es richtig funktioniert

# Was heißt das für „ethisches Verhalten“ von Maschinen?

Es könnte nicht berechenbar sein  
Es könnte zu viel Zeit oder/und Speicherplatz brauchen  
Es könnte ....

Es ist unklar, welcher Fall zutrifft -  
Der erste scheint mir wahrscheinlich,  
selbst der berechenbare Teil von Ethik ist total unklar

es gibt nur informelle Beschreibungen,  
keine programmunabhängige Modellierung

unbemannte Vehikel und autonome Waffen,  
die eigenständig töten,  
sind nach diesen Überlegungen wohl kaum fähig,  
sich nach ethischen Prinzipien zu verhalten

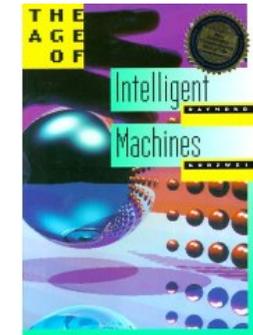
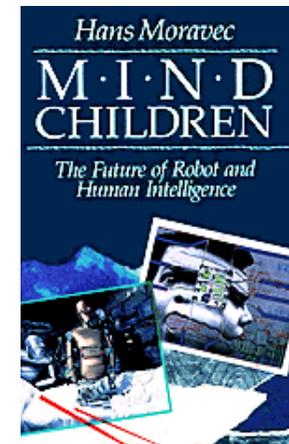
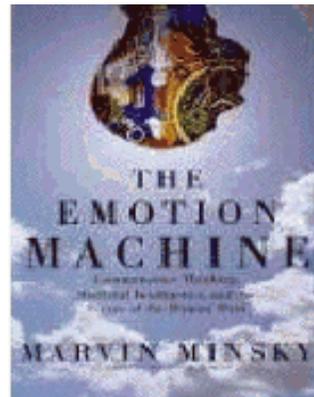
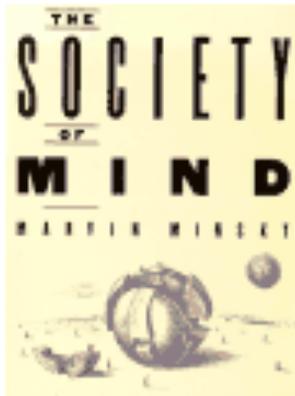
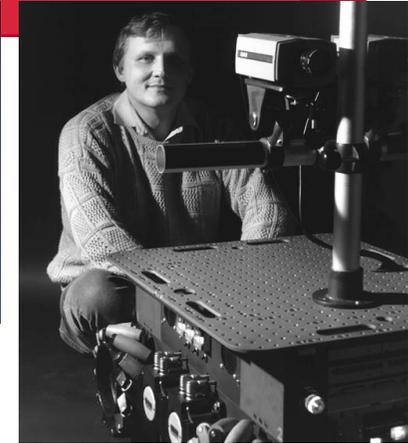
es ist gefährlich und unverantwortlich,  
sie zu entwickeln und einzusetzen

sie gehören verboten

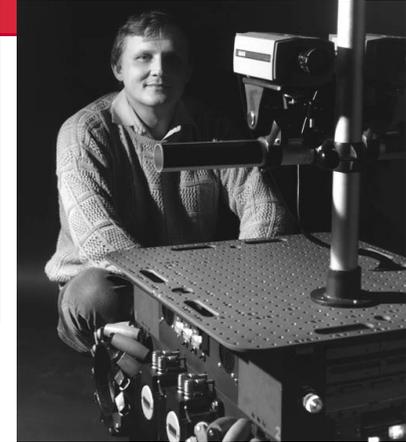
ihre Entwickler und Benutzer handeln verantwortungslos  
und riskieren Anklagen als Kriegsverbrecher

unbemannte Vehikel und autonome Waffen,  
die eigenständig töten,  
sind nach diesen Überlegungen wohl kaum fähig,  
sich nach ethischen Prinzipien zu verhalten

künstliche Ethik ist vor allem künstlich  
ihre Relation zu menschlicher Ethik ist vage  
Vergleiche mit künstlicher Intelligenz



führende Vertreter der Künstlichen Intelligenz wie Minsky, McCarthy, Kurzweil und Moravec propagieren seit 1956, dass künftig Maschinen besser denken können als Menschen

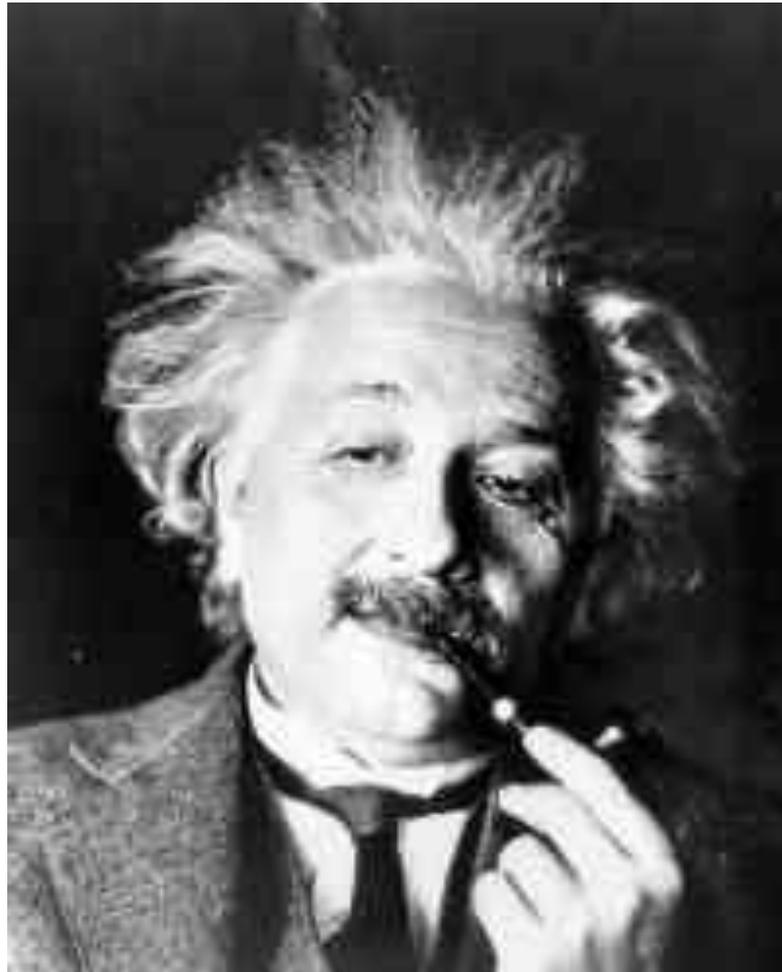


**führende Vertreter der Künstlichen Intelligenz wie Minsky, McCarthy, Kurzweil und Moravec propagieren seit 1956, dass künftig Maschinen besser denken können als Menschen ...**

**...aber alles, was die KI bisher hervorgebracht hat, sind einzelne eng begrenzte „kognitive“ Leistungen**

**(eine Maschine, die bellt, ist noch lange kein Hund)**

**Künstliche Ethik ist nicht einfacher als künstliche Intelligenz**



Das Denken  
der  
Zukunft  
muss  
Kriege  
unmöglich  
machen.

Vielen Dank  
für Eure  
Aufmerksamkeit